

이온스파터 가공한 다이아몬드 축침의
선단반경이 표면거칠기 측정에 미치는 영향

한 응교**, 노 병옥, 유 영덕*

A Study on the Effect of Tip Radius of Diamond Stylus
Machined by Ion Sputter in Surface Roughness Measurement

Eung-Kyo, Han, Byung-Ok, Rho, Young-Duk, Yu

ABSTRACT

In accordance with the high precision of mechanical elements, it has been required to high precision in surface roughness measurement and, therefore, stylus tip radius is manufactured less than $2\mu\text{m}$ through ion sputter machining. In this experiment, by using ion sputter machined stylus of fine tip radius and lapping machined stylus, surface roughness of standard specimens, silicon wafer were measured and then R_{max} , R_{a} , RMS value were investigated according to the variation of tip radius of stylus. As a result, measuring error due to the variation of stylus tip radius in surface roughness measurement was decreased by using ion sputter machined stylus and also the measuring accuracy was improved. And the measuring variation of R_{a} , RMS calculated from correlation coefficient larger than 0.9 on the wave of short period and amplitude using ion sputter machined stylus of fine tip radius.

Key words

Ion sputter machining(이온스파터 가공), Stylus tip radius(축침선단반경), Surface roughness(표면거칠기), Correlation coefficient(상관계수), Standard specimen(표준시험편)

**한양대학교 정밀기계공학과

*한양대학교 대학원

NOMENCLATURE

<p>a : 파형의 진폭</p> <p>$g(x)$: 여현파형의 입력 곡선</p> <p>$f(x)$: 여현파형의 출력 곡선</p> <p>$g_t(x)$: 삼각파형의 입력 곡선</p> <p>$f_t(x)$: 삼각파형의 출력 곡선</p> <p>$g_s(x)$: 사각파형의 입력 곡선</p> <p>$f_s(x)$: 사각파형의 출력 곡선</p> <p>h : 파형의 높이 (μm)</p> <p>R : 축침의 선단반경 (μm)</p> <p>R_a : 중심선 표면거칠기 (μm)</p> <p>R_a' : R_a의 오차</p> <p>RMS : 실효치 (μm)</p> <p>RMS_i : 입력파형에서의 RMS</p>	<p>RMS_o : 출력파형에서의 RMS</p> <p>R_{\max} : 최대거칠기 (μm)</p> <p>T : 파형의 주기 ($\mu\text{m}/\text{cyc}$)</p> <p>x : 입력파형의 선단중심의 x좌표</p> <p>y : 입력파형의 선단중심의 y좌표</p> <p>X : 출력파형의 선단중심의 x좌표</p> <p>Y : 출력파형의 선단중심의 y좌표</p> <p>$O(X, Y)$: 축침의 선단반경 중심</p> <p>θ : $g(x)$의 접선과 x좌표사이의 각</p> <p>θ_0 : θ의 극대존재시의 각도 ($2\pi R/T$)</p> <p>α : T와 R에 따른 변수</p> <p>ρ : 여현파형 곡저의 곡률반경</p> <p>ω : 주파수</p>
--	---

1. 서 론

최근의 전자, 반도체 혹은 광학기기의 부품에 있어서는 마이크로미터(Micrometer) 이하의 미세가공면을 필요로 하는 경우가 많다(1-3).

이러한 매우 정밀한 표면을 요구하는 가공품에 있어서의 정도평가시에는 표면거칠기를 정확히 측정할 필요가 있으며 또한 표면거칠기는 공업적으로 기구의 마찰, 마멸, 기밀성 및 제품의 외관등과도 밀접한 관계를 가지고 있다. 표면거칠기 측정시에는 오래전부터 다이아몬드 축침을 이용한 축침식 표면거칠기 측정기가 널리 이용되어 왔으며 여러가지 표면성상 평가방법 중에서 가장 일반적이고 신뢰도가 높은 방법으로 알려져 있다(4-6).

그러나 축침식 표면거칠기 측정법의 가장 기본이 되는 축침의 선단반경의 크기에 의해 표면거칠기값에 차이가 생김이 이론적 및 실험적으로 알려져 있으며(9, 10) 따라서 정확한 표면거칠기값을 알기 위해서는 이러한 표면거칠기값의 오차의 크기를 알아야 한다. 또한 최근의 미세 가공면의 고정도화에 따라 종래의 축침의 선단반경이었던 $2\mu\text{m}$ 보다 더 미세한 선단반경을 갖는 축침이 기계가공으로는 불가능하였으나 이온스파터 가공법을 이용하여 가공되었으며 이러한 미세한 선단반

경을 갖는 축침이 표면거칠기값에 미치는 영향을 알기 위해서는 축침의 선단반경에 의해 발생하는 미소오차를 명확히 규명할 필요성이 대두되었다.

따라서 본 실험에서는 미세한 표면 거칠기 측정에 적합한 축침선단반경 $2\mu\text{m}$ 이하의 이온스파터 가공한 축침(9)과 $2\mu\text{m}$ 이상인 기계가공한 축침을 이용해서 시험편의 표면으로부터 R_a , RMS, R_{\max} 등을 구하여 이

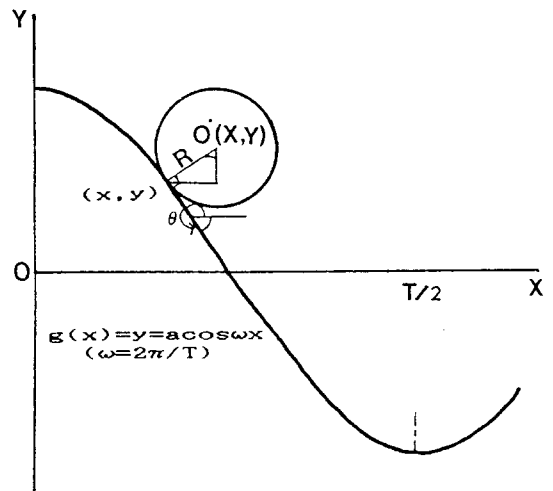


Fig.1 Error caused by stylus tip radius

론적으로 발생하는 축침선단반경에 의한 표면거칠기값의 오차와 실제 측정값에서의 오차를 비교 평가하여 축침의 선단반경이 표면거칠기 측정에 미치는 영향에 대한 연구를 하였다.

2. 축침선단반경에 의한 표면거칠기 곡선의 오차에 대한 해석

2-1. 여현파형의 오차에 대한 해석

입력의 여현파형 $g(x)$ 를 $a\cos\omega x$ 로 하고 그 위를 선단반경 R 의 축침이 움직인 경우의 원중심의 궤적 즉, 출력파형을 $f(x)$ 로 한다. 그림 1에 있어서 축침의 중심을 O' 로 할때, O' 원과 $g(x)$ 와의 접점을 (x, y) , 중심 O' 의 좌표를 (X, Y) 또 접선이 횡축과 이루는 각을 θ 라 하자. (x, y) 와 (X, Y) 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned} X &= x - R \sin \theta \\ Y &= y + R \cos \theta \end{aligned} \quad (1)$$

또한, $y' = \tan \theta$ 이며, 삼각함수간의 관계에 따라

$$\begin{aligned} \sin \theta &= y' (1 + y'^2)^{-1/2} \\ \cos \theta &= (1 + y'^2)^{-1/2} \end{aligned}$$

이 된다. 따라서

$$\begin{aligned} X &= x - Ry' (1 + y'^2)^{-1/2} \\ Y &= y + R (1 + y'^2)^{-1/2} \end{aligned} \quad (1')$$

여기에서 $g(x)$ 의 접선과 x 축이 이루는 각 θ 에 대해서 생각해 보면

$$y' = \tan \theta = -\omega a \sin \omega x = -\frac{2\pi}{T} a \sin \omega x \quad (2)$$

각 θ 의 절대치는 극대는 $|\sin \omega x| = 1$ 일때이고 이것은 $x = n\pi$ (n = 정수)이다.

즉, 곡선 $g(x)$ 와 x 축의 교점에 있어서 $|\theta|$ 의 극대가 존재하고 그때 각을 θ_0 로 하면

$$\theta_0 = 2\pi a/T \quad (3)$$

이 된다.

또한 α, γ 를 다음과 같이 정의하고

$$\begin{aligned} \alpha &= 2\pi R/T \\ \gamma &= a\theta_0 = (2\pi R/T) (2\pi a/T) \end{aligned} \quad (4)$$

근사계산을 하기 위해 $\gamma \ll 1$ 로 가정한다. 이 $\gamma \ll 1$ 의 조건은 여현파형의 곡저에 축침선단이 닿기위한 조건이다. $\theta < 0.3$ (10), $\gamma \ll 1$ 을 고려하여 출력파형의 제 2 항까지만 취하면 식 (1)로부터

$$X = x - Ry' (1 - y'^2/2 + 3y'^4/8 \dots) \text{이 되며}$$

식 (2), (3)으로부터 $y' = -\theta_0 \sin \omega x$, 이것과 $R\theta_0^2$ 을 취하면

$$X = x + R\theta_0 \sin \omega x \quad (5)$$

또한,

$$\begin{aligned} x &= X - R\theta_0 \sin \omega x \\ &= X - R\theta_0 \sin \{ \omega (X - R\theta_0 \sin \omega x) \} \end{aligned}$$

이며, 여기에서 $\Delta = \omega R\theta_0 \sin \omega x$ 라 하면 $\Delta = \gamma \sin \omega x \leq \gamma$ 가 되며

$x = X - R\theta_0 \sin \omega X \cos \Delta + R\theta_0 \cos \omega X \sin \Delta$ 이다.

또한,

$$\sin \Delta = \frac{\Delta}{1!} - \frac{\Delta^3}{3!} + \frac{\Delta^5}{5!} \dots$$

$$\cos \Delta = 1 - \frac{\Delta^2}{2!} + \frac{\Delta^4}{4!} \dots$$

이므로 $R\theta_0 \gamma$ 항을 취하면 Δ^2 이하를 제거하여

$$x = X - R\theta_0 \sin \omega X + \gamma R\theta_0 \cos \omega X \sin \omega X \dots (6)$$

식 (1')로부터

$$Y = y + R - R\theta_0^2 \sin^2 \omega x / 2 \dots (7)$$

식 (6)으로부터

$$Y = y + R - R\theta_0^2 \sin^2 \omega X / 2 \dots (7')$$

또한 식 (6)에서 $\omega R\theta_0 = \gamma$, \cos 중의 γ^2 은 무시할 수 있기 때문에

$$y = a \cos \omega x = a \cos (\omega X - \gamma \sin \omega X) \text{이다.}$$

여기에서

$\cos \{ \gamma \sin \omega X \} \cong 1$
 $\sin \{ \gamma \sin \omega X \} \cong \gamma \sin \omega X$ 이다.

또한 $a\gamma = R\theta_0^2$ 이므로 $a\gamma$ 항을 취하면 $y = a\cos \omega x$ 이며 이것을 식 (7)에 대입하면 $Y = R + a\cos \omega x + a\gamma \sin^2 \omega X / 2$ 이며 또한 $\sin^2 \omega X = (1 - \cos 2\omega X) / 2$ 이므로 결국 출력파형은

$$f(x) = R + a\gamma/4 + a\cos \omega X - a\gamma \cos 2\omega X / 4 \dots (8)$$

2-2. 삼각파형의 오차에 대한 해석

삼각파를 푸리에 급수 전개하여 세번째항 이상을 무시하면 삼각파형은 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$g_t(x) = \frac{8a}{\pi^2} (\cos \omega x + \frac{1}{9} \cos 3\omega x) \dots (9)$$

$\gamma \ll 1$ 이라고 하고 식(8)이 성립하는 경우, 식 (9)의 제 2 항 $g_B(x)$ 를 다음과 같이 놓으면

$g_B(x) = a_3 \cos 3\omega x$ 이 되며 식 (8)로부터 그 출력은 $f_B(x)$ 는 다음과 같다.

$$f_B(x) = R + a_3\gamma/4 + a_3 \cos 3\omega x - a_3\gamma \cos 6\omega x / 4$$
가 된다.

이들의 진폭을 1로 하면 ($a = a_3 = 1$), $\gamma_3 = (3\omega R) = 9\gamma$ 이며, 따라서

$$f_B(x) = R + \frac{9}{4}\gamma + \cos 3\omega x - \frac{9}{4}\gamma \cos 6\omega x$$
가 된다.

따라서 입력 $g_t(x)$ 에 대한 출력 $f_t(x)$ 는 식 (9)로부터

$$f_t(x) = \left(R + \frac{4a\gamma}{\pi^2} \right) + \frac{8a}{\pi^2} \left[(\cos \omega x + \frac{1}{9} \cos 3\omega x) - \frac{\gamma}{4} (\cos 2\omega x + \cos 6\omega x) \right] \quad (10)$$

2-3. 사각파형의 오차에 대한 해석

사각파를 푸리에 급수 전개하여 세번째항 이상을

무시하면 사각파형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$g_s(x) = \frac{4a}{\pi} (\cos \omega x - \frac{1}{3} \cos 3\omega x) \dots (11)$$

식 (11)에서 제 2 항을 $g_{s3}(x) = a_3 \cos 3\omega x$ 로 하면 식(8)로부터 그 출력파형 $f_{s3}(x)$ 는 다음과 같다.

$$f_{s3}(x) = R + \frac{1}{4}a^3\gamma_3 + a_3 \cos 3\omega x - \frac{1}{4}a_3\gamma_3 \cos 6\omega x$$

그러므로 입력 $g_s(x)$ 에 대한 출력 $f_s(x)$ 는 식(11)로부터

$$f_s(x) = \left(R + \frac{4a\gamma}{\pi} \right) + \frac{4a}{4} \left[(\cos \omega x + \frac{1}{3} \cos 3\omega x) - \frac{\gamma}{4} (\cos 2\omega x + 3\cos 6\omega x) \right] \dots (12)$$

가 된다. 여기에서 제 1 항은 상수, 제 2 항은 입력 $g(t)$, 마지막항은 오차를 나타내고 있다.

3. 실험장치 및 방법

3-1. 시험편

시험편은 축침선단반경에 따른 표면거칠기 파라메타의 오차값을 실제로 축침의 선단반경을 달리하여 측정 한 실험치와 비교하기 위하여 Fig 2에서와 같이 표면 거칠기값이 서로 다른 표준시험편 3개를 이용하였으며, 또한 임의의 형상을 갖고있는 표면에 대하여 축침의 선단반경이 표면거칠기 측정값에 미치는 영향을 알아 보기 위하여 실리콘 웨이퍼의 앞면과 뒷면을 이용하였다. Table 1은 시험편 A, B, C의 파장과 진폭을 나타내었다.

3-2. 실험장치

이온스파터 가공한 축침 (선단반경 $2\mu m$ 이하) (11) 과 기계가공한 축침 (선단반경 $2\mu m$ 이상)의 선단반경의 변화에 따른 표면거칠기값을 측정하기 위하여 Photo 1과 같은 표면거칠기 측정기(Kosaka Lab. Ltd., SE-30H)를 사용하였다. 시험편을 정반인 경사조정대에 놓고 수평조정을 한후 검출기에서 표면거칠기 파형을 검출한 후 Amp로 보내진다. Amp에서는 증폭,

Table 1. Dimension of the specimen curve

Specimen	Period(T)	Height(h)
A(Triangle curve)	100	10
B(Square curve)	200	10.6
C(Square curve)	50	1.07

Unit(μm)

연산장치가 있어 일단 신호를 증폭한후 표면거칠기 곡선에 대한 연산을 수행하는 연산장치를 써서 각 파라메타값을 연산한 후 기록계에 보내져서 기록되어진다. 또한, 거칠기 파형곡선은 SGA 표면거칠기 해석장치로 보내져서 상대부하곡선을 구하고 거칠기곡선 파형이 그래픽처리된다.

Fig 3에는 표면거칠기 측정장치인 SE-30H의 블록 다이어그램을 나타내고 있다.

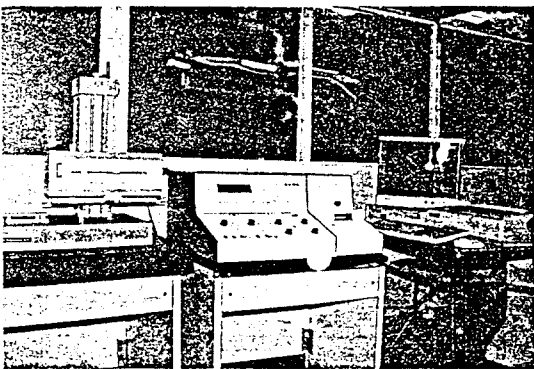


Photo 1. Experimental apparatus (Surfcoorder SE-30H)

또한 측정의 선단반경의 평가는 미세형상측정기(ET-30HK)에 선단반경 $0.05\mu\text{m}$ 의 나이프엣지형 측정자를 붙여서 측정의 선단반경을 측정하였다

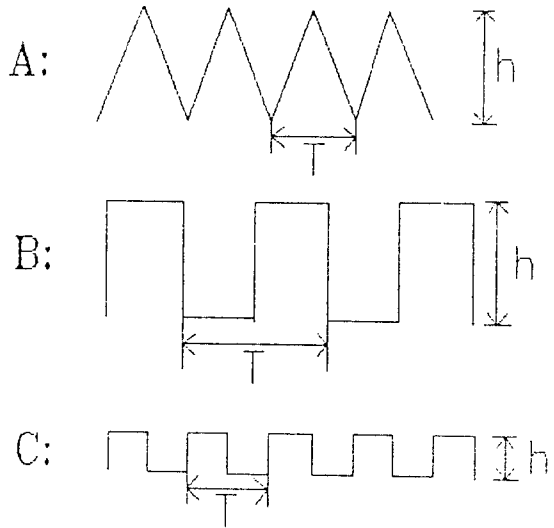


Fig. 2 Surface pattern of standard specimens

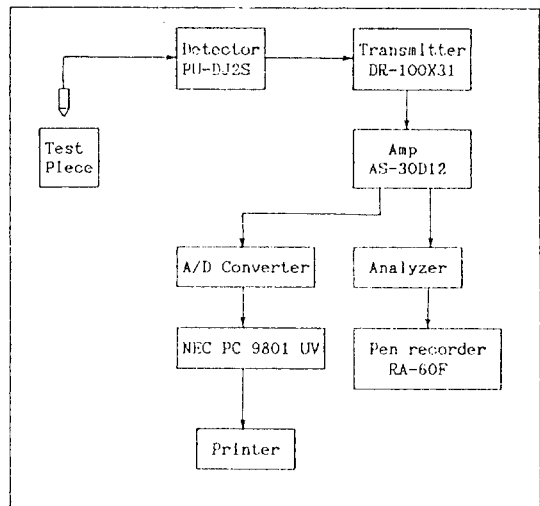


Fig. 3 Block diagram of SE-30H surface

3-3. 실험방법

각 시험편에 대하여 선단반경이 서로 다른 측정(선단반경 $2\mu\text{m}$ 이하; 이온스파터 가공으로 제작, 선단반경 $2\mu\text{m}$ 이상; 기계가공으로 제작)을 이용하여 시료표면의 Ra, RMS, Rmax값 등을 측정하여 측정의 선단반경 변화에 따른 측정값의 변화를 알아보기 위하여 다음과 같은 방법으로 실험을 행하였다.

(1) 본 실험에서는 같은 시험편을 선단반경이 각각 다른 여러개의 촉침을 이용하여 다수의 표면거칠기를 측정하기 때문에 시험편의 마모에 의해 발생하는 오차가 문제시 되리라 여겨진다.

따라서 각 시험편의 마모여부를 확인하기 위해서 선단반경 $2\mu\text{m}$ 의 촉침선단부의 형상이 양호한 마스터 촉침을 선정하여 실험전의 각 시험편의 Ra, RMS, Rmax값을 측정하고 실험이 모두 끝난후에 같은 측정조건 상태에서 다시 측정하여봄으로써 시험편의 마모여부를 판정하여 보았다.

(2) 미세형상측정장치(ET-30HK)로 각 촉침의 선단반경을 0° , 60° , -60° 의 3방향에서 측정하여 그 측정치의 평균값을 촉침의 선단반경으로 결정하였다.

(3) 각 시험편을 각각의 선단반경의 촉침에 대해서 10회씩 랜덤하게 측정하고 Ra, RMS, Rmax값의 평균치를 구하여 촉침선단반경의 증가에 따른 측정값들의 변화를 촉침의 선단반경별로 구하여 보고 측정값과 Ra, RMS, Rmax의 오차값에 대하여 이론적으로 해석한 값과를 비교하여 보았다. 이 실험을 통하여 촉침의 선단반경이 표면거칠기 파라메타값의 오차에 미치는 영향을 규명하여 보았다.

(4) 상관계수를 이용하여 촉침의 선단반경이 표면거칠기 파라메타값에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Ra, RMS의 각각에 대한 상관계수를 구하여 보았다.

Table 2 Experimental condition in surface roughness measurea

Item	Specification
Drive speed	0.1mm/s
Measuring length	0.8mm
Vertical magnification	Standard specimen X500 Silicon piece(front) X2000 Silicon piece(behind) X5000
Horizontal magnification	Specimen X100 In all
Measuring force	R $\geq 2\mu\text{m}$ 0.7 μN R < $2\mu\text{m}$ 0.2 μN

위에서 서술한 실험을 행할 때의 표면거칠기 측정기(SE-30H)의 측정조건은 Table 2과 같다. 촉침선단반경이 $2\mu\text{m}$ 이하의 이온스파터 가공으로 제작된 촉침은 측정압과 촉침이송속도에 큰 영향을 받으리라 여겨져서 측정압과 촉침의 이송속도를 최소값으로 설정하여 실험을 행하였다.

Table 3 Valus of Ra, RMS and Rmax in pre and postexperiment

Item Specimen	Parameter	Pre-experiment	Post-experiment	Difference
A	Ra	2.433	2.451	-0.018
	RMS	2.423	2.422	-0.003
	Rmax	9.920	9.900	-0.02
B	Ra	4.220	4.214	-0.006
	RMS	4.512	4.507	-0.005
	Rmax	10.452	10.331	-0.121
C	Ra	0.347	0.345	-0.002
	RMS	0.436	0.403	-0.003
	Rmax	0.300	0.791	-0.009

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 측정시 발생하는 시험편의 마모

실험을 하는 동안에 생기는 시험편의 마모상태를 알기 위하여 실험전, 후 같은 측정조건상에서 시험편의 표면거칠기를 측정하였다. Table 3은 본 실험에서 사용한 표준시험편 A, B, C를 실험전과 실험후에 촉침선단반경이 $2\mu\text{m}$ 인 마스터 촉침으로 측정된 표면거칠기 값이다.

마스터 촉침을 이용한 각 표준시험편의 표면거칠기 측정결과 실험전, 후로 촉침의 트레이싱에 의해 생기는 시험편의 마모는 무시할 수 있었다. 그러나 Rmax의 경우에는 다소 큰 차이값(A시험편; $0.02\mu\text{m}$, B시험편; $0.121\mu\text{m}$, C시험편; $0.009\mu\text{m}$)이 발생하였기 때문에 실험을 진행하는 동안 그 차이값을 실험이 진행되는 숫자로 나누어 측정된 Rmax 값에 시험편의 마모에 의해서 생긴 오차값을 더하여 보정해 줌으로서 마모에서 생기는 오차를 보정하여 정확한 Rmax값을 취하였다.

4-2. 촉침선단반경의 증가에 따른 Rmax, Ra, RMS의 변화

(1) Rmax의 변화

삼각파형을 가진 표준시험편인 경우, Fig 4(a)에서 알 수 있듯이, 이론적으로 발생한 오차에 의한 Rmax 값과 실제측정한 Rmax값과는 차이가 있었으며 이는 촉침의 선단반경이 클수록 그 차이가 커짐을 알 수

있었다. 그러나 이 오차는 표면거칠기 측정기내의 여러 오차요인에 의해 발생된 것이므로 전적으로 측정의 선단반경의 크기의 차이에 의해 발생한 오차는 아니지만 측정의 선단반경이 적을수록 시험편을 정확히 측정할 수 있음을 알 수 있었다.

이온스파터 가공한 측정의 경우, 이론적인 오차와 실험치와는 약 $0.01\mu\text{m}$ 정도의 차가 있었으나 측정의 선단반경이 $2\mu\text{m}$ 이상인 기계가공한 측정의 경우에는 약 $0.07\mu\text{m}$ 정도의 차가 생겼으며 측침을 이온스파터 가공함으로써 측정정밀·정확도를 $0.06\mu\text{m}$ 정도 향상시킬 수 있었다. Fig 4(b)와 같이 사각파형이 표준시험편인 경우에는 측정의 선단반경 변화에 따른 Rmax의 이론적인 오차는 무시할 수 있을 정도로 작으며 실제의 Rmax값과 측정된 Rmax값 사이에는 측정의 선단반경이 적을수록 그 오차가 적음을 알 수 있었다. 이때 이온스파터 가공한 선단반경 $0.25\mu\text{m}$ 의 측침을 사용하여 측정된 경우 B시험편에서는 $0.01\mu\text{m}$, C시험편에서는 $0.005\mu\text{m}$ 의 아주 작은 양의 오차가 있었지만 $10\mu\text{m}$ 의 측침을 사용하여 측정된 경우 B시험편에서는 $0.4\mu\text{m}$, C시험편에서는 $0.77\mu\text{m}$ 로서 상당히 큰 오차값을 보였으며 또한 시험편의 표면이 미세할수록 그 오차가 커짐을 본 실험을 통해 알 수 있었다.

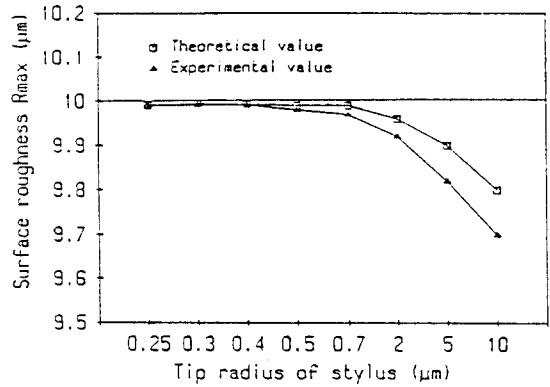
(2) Ra의 변화

Fig 5에서도 알 수 있듯이 Ra의 이론적인 오차와 실측정치와의 차는 Rmax의 경우와 마찬가지로 이온스파터 가공한 미소선단반경을 갖는 측침을 사용하여 측정함으로써 그 오차값을 줄일 수 있었다.

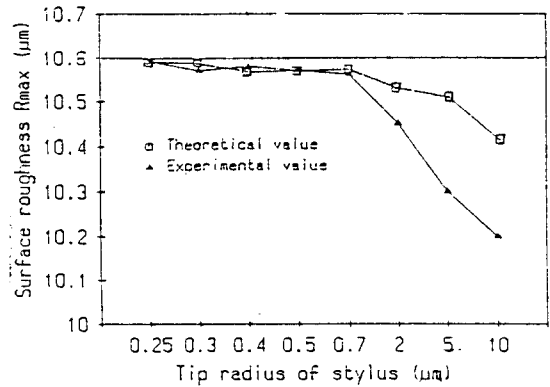
측침선단반경 $0.25\mu\text{m}$ 의 이온스파터 가공한 측침을 사용하여 표면거칠기값 Ra를 측정할 경우 A시험편에서는 거의 오차가 없었으며 B시험편에서는 $0.03\mu\text{m}$ 정도의 오차가 생겼으나 기계가공한 선단반경 $10\mu\text{m}$ 의 측침을 사용할 경우에는 A시험편에서는 $0.08\mu\text{m}$, B시험편에서는 $0.308\mu\text{m}$, C시험편에서는 $0.045\mu\text{m}$ 의 오차가 발생하였다. 따라서 이온스파터 가공하여 측정의 선단반경을 $2\mu\text{m}$ 이하로 미세가공함으로써 A시험편에서는 $0.08\mu\text{m}$, B시험편에서는 $0.278\mu\text{m}$, C시험편에서는 $0.045\mu\text{m}$ 의 정밀·정확도를 향상시킬 수 있었다.

(3) RMS의 변화

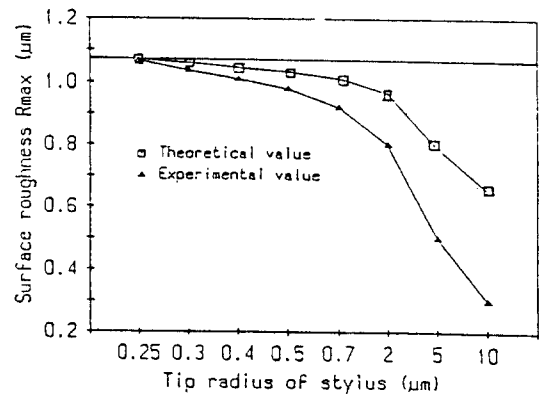
Fig 6에서 알 수 있듯이 시험편 A, B, C에 있어서



(a) A specimen

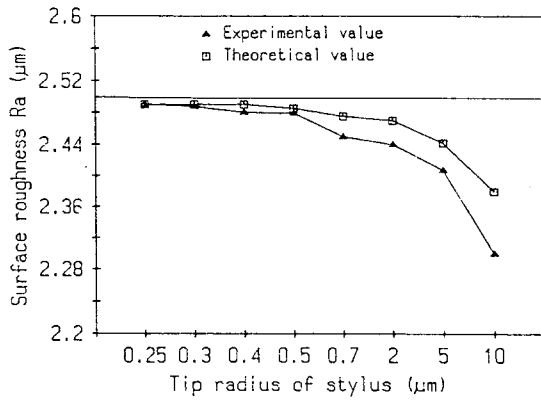


(b) B specimen

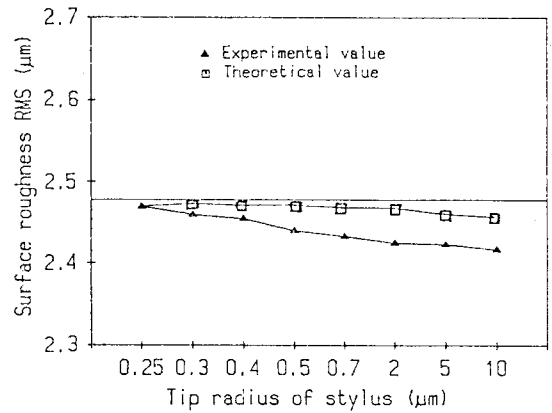


(c) C specimen

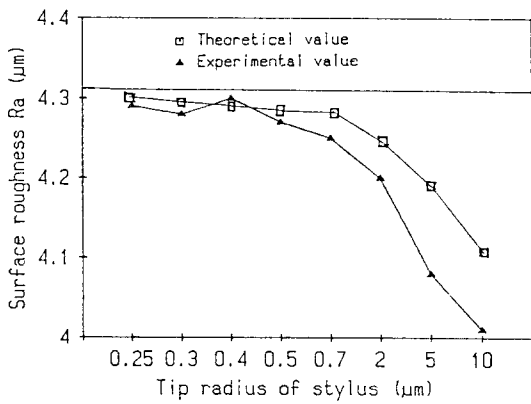
Fig. 4 Variation of Rmax according to increase of stylus tip radius



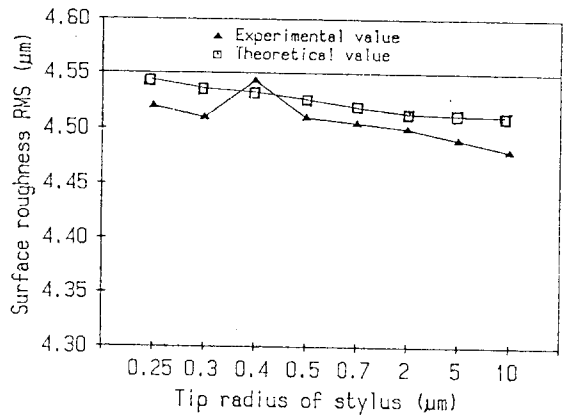
(a) A specimen



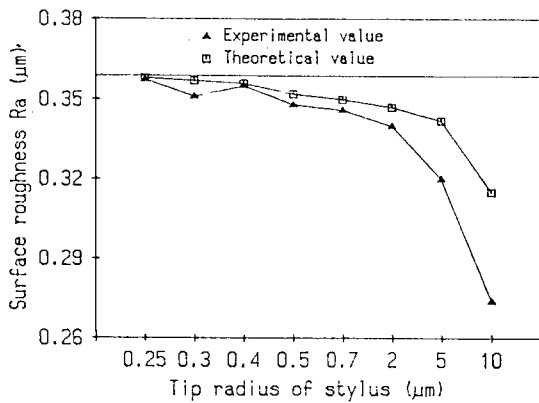
(a) A specimen



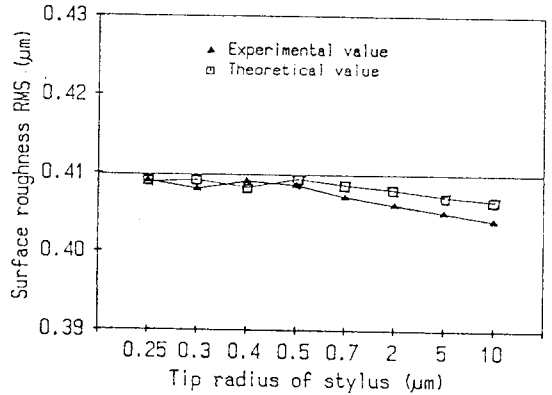
(b) B specimen



(b) B specimen



(c) C specimen



(c) C specimen

Fig. 5 Variation of Ra according to increase of tip radius of stylus

Fig. 6 Variation of RMS according to increase of stylus tip radius

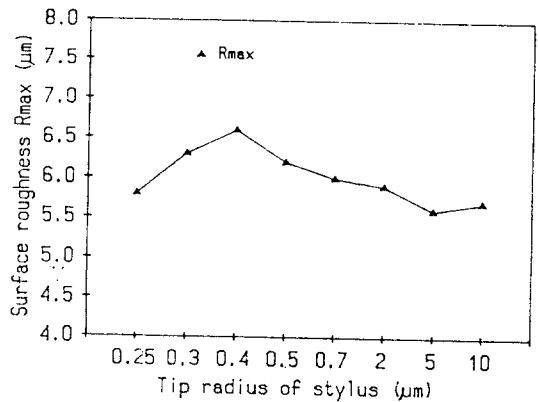
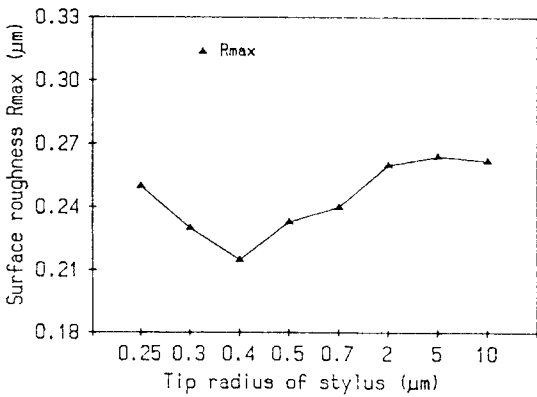
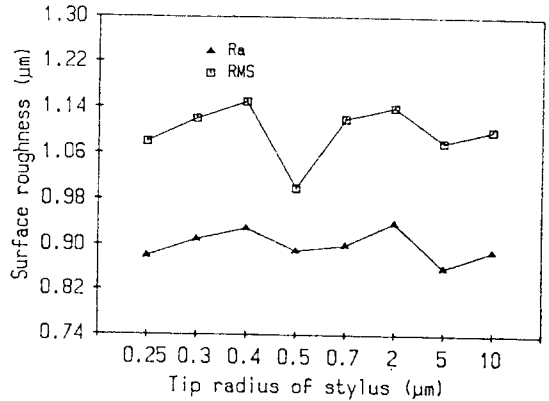
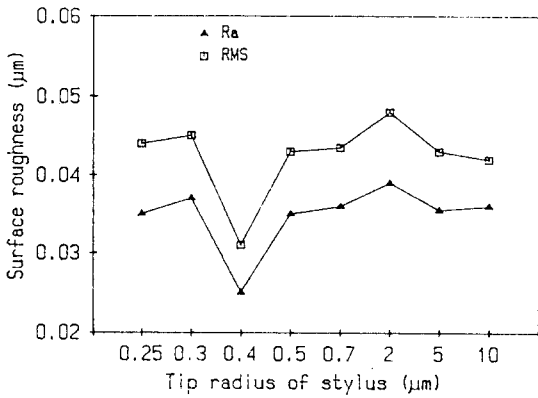
촉침의 선단반경이 증가함에 따라 발생하는 오차도 Rmax, Ra값에서의 오차와 비교해 볼때 아주 작은 오차값임을 알 수 있었다. 이는 RMS값을 구할 때 파형에서 생기는 차를 대부분 보정해준 값으로 되기 때문이라 여겨진다.

그러나 RMS값은 Ra값과 오차가 발생하는 경향은 거의 동일함을 알 수 있었다. 따라서 Rmax, Ra, RMS 중에서 촉침의 선단반경의 영향을 가장 적게 받는 것은 RMS였다.

(4) Silicon wafer 가공면의 촉침선단반경 증가에 따른 Rmax, Ra, RMS의 변화

일정한 표면형상을 지닌 표준시험편에서는 촉침의 선단반경 증가에 따른 Rmax, Ra, RMS의 값의 변화는 일정한 감소경향을 나타내고 있음을 Fig 4-6으로부

터 알 수 있었으나, Fig 7에서 보는 바와 같이 랜덤하고 불규칙한 표면형상을 이루고 있는 Silicon wafer의 앞면과 뒷면에서는 측정범위가 넓고 불규칙한 표면형상을 지니고 있으므로 표준시험편에서 측정한 바와같이 일정한 감소현상은 일으키지 않았으나 촉침선단반경 증가에 따른 Rmax, Ra, RMS값의 변화 경향은 유사함을 알 수 있었다. 이온스파터 가공한 촉침을 사용하여 측정한 경우에는 촉침의 선단반경 증가에 따라 Rmax, RMS값의 변화가 크게 나타났는데 이는 촉침의 선단반경이 미세하기 때문에 랜덤한 불규칙한 표면형상의 영향을 크게 받았기 때문이라 여겨진다. 따라서 불규칙한 표면형상을 지닌 표면일수록 이온스파터 가공한 촉침은 거칠기 값에 큰 영향을 받음을 알 수 있었다.



(a) Silicon wafer(front)

(b) Silicon wafer(rear)

Fig. 7 Variation of Rmax, Ra, RMS according to increase of stylus tip radius

4-3. 축침의 선단반경 증가에 따른 Ra, RMS의 상관 계수의 변화

본 실험에 있어서 축침의 선단반경 증가에 따른 Ra, RMS값은 각각 시험편을 10회씩 측정하여 그 평균값으로 나타낸 것이다. 그러므로 10회씩 측정할 때마다 표면거칠기값은 미소량의 차이가 있으며 또한 Ra와 RMS값은 모두 거칠기 곡선에서 중심선으로부터 측정길이 만큼 취하여 얻어지는 값이므로 이론적으로는 상관계수가 1이 되나 실제에 있어서는 축침의 선단반경 및 측정기의 오차등에 의해 상관계수는 1이 되지 않으며 이 상관계수를 각각의 축침의 선단반경별로 구해봄으로써 각 축침의 선단반경에 있어서의 우연오차를 정량적으로 평가하여 보았다.

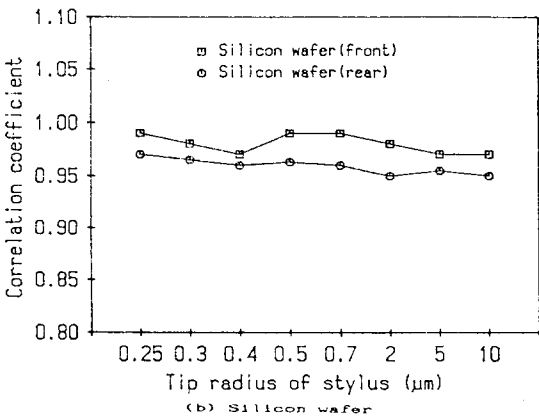
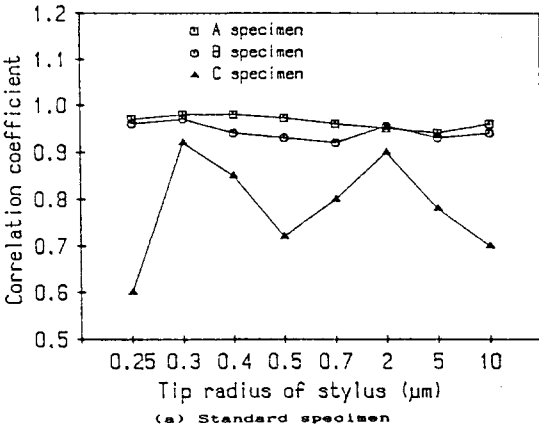


Fig. 8 Variation of correlation coefficient between Ra and RMS

Fig. 8(a)는 표준시험편을 측정했을 때 각각의 표준 시험편에 대해서 축침의 선단반경의 증가에 따른 Ra, RMS의 상관계수를, Fig 8(b)는 Silicon wafer의 상관계수를 나타내고 있다. Fig 8(a)에서도 알 수 있듯이 표준시험편 A, B에 있어서 축침선단반경 증가에 따른 상관계수의 변화는 적었으나 표준시험편 C에서는 상관계수의 변화폭이 크게 나타났다. 따라서 파형의 진폭과 주기가 작은 파형일수록 Ra, RMS의 상관계수는 축침의 선단반경 증가의 영향을 많이 받을 수 있었으며 또한 표준시험편 A, B에 있어서 축침의 선단반경이 미세할수록 Ra, RMS값의 상관계수는 1에 가까우며 측정 우연오차가 적게 발생됨을 알 수 있었다. Silicon wafer의 앞, 뒷면과 같이 초미세가공되어 진폭이 0에 가까운 표면은 a, θ 등의 변형을 발생시키는 변수들이 0이 되기 때문에 선단반경 증가에 따른 Ra, RMS값의 상관계수의 변화가 거의 없었으며, 또한 Silicon wafer의 앞면의 측정결과에서 보면 각 축침의 선단반경별로 모두 상관계수는 1에 가까우며 따라서 측정시 우연오차가 거의 발생되지 않았음을 보이고 있다. Ra, RMS값간의 상관계수를 구하여 봄으로써 이온스파터 가공한 미세한 선단반경을 갖는 축침이 기계가공한 축침보다 측정시에 있어서 우연오차가 적음을 알 수 있었다.

5. 결 론

이온스파터 가공한 다이아몬드 축침과 기계가공한 축침을 이용하여 각각 선단반경을 변화시켜가며 축침의 선단반경 증가가 표면거칠기 측정에 미치는 영향에 대한 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 표준시험편의 측정에 있어서 이온스파터 가공한 선단반경 2 μ m 이하의 축침은 기계가공한 축침(선단반경 2 μ m, 5 μ m, 10 μ m)보다 Rmax, Ra, RMS값의 측정오차가 적었으며 그 측정오차는 축침의 선단반경이 증가할수록 증가됨을 알 수 있었다.
- (2) 불규칙하고 미세한 표면형상을 지닌 Silicon wafer에 있어서는 표준시험편에서와 같이 축침선단반경

증가에 따라 Rmax, Ra, RMS값의 측정오차가 일정하게 증가되지는 않았지만 측정오차의 변화경향은 유사함을 알 수 있었다.

(3) Ra, RMS의 상관계수는 표준시험편 A, B에 있어서는 측정의 선단반경 증가에 따른 변화가 거의 없이 모두 0.95 이상의 일정한 값을 보여 측정시에 있어서 우연오차가 적음을 알 수 있었으나, 표준시험편 C에 있어서는 측정의 선단반경 증가에 따른 상관계수의 변화가 크며 측정시 우연오차가 큼을 알 수 있었다.

(4) 표면거칠기 측정용 다이아몬드 측침을 이온스파터 가공법으로 가공함에 따라 측정정도를, 표준시험편 A, B, C에서 각각 Rmax 20%, 5.8%, 3.7%, Ra 33%, 17%, 10%, RMS 20%, 60%, 25%의 정밀·정확도를 향상시킬 수 있었다.

參 考 文 獻

- (1) 宮本 絃三, 1989, “最近の表面微細形狀測定技術(1)”, 機械の研究, Vol. 41, No. 4, pp. 457-462.
- (2) 宮本 絃三, 1989, “最近の表面微細形狀測定技術(2)”, 機械の研究, Vol. 41, No. 5, pp. 569-573.
- (3) 中村 常郎, “最近の精密加工と精密測定”, 機械の研究, Vol. 31, No. 4, pp. 35-54.
- (4) 保料 直美, 森 吉雄, “Talystepによる表面形狀の評価”, 高精度, Vol. 4, No. 2, pp. 35-54.
- (5) Spragg, R. C., 1967-8, “Accurate Calibration of Surface Texture and Roughness Measuring Instrument”, Proc. Instrn. Meck. Engro., Pt 3k, pp. 182.
- (6) 官本 絃三, 1985, “接觸式と非接觸式による表面形狀測定”, 精密機械, Vol. 51, No. 4, pp. 12-18.
- (7) 韓應教, 趙南珪, 1986, “觸針式 表面거칠기 測定器에 있어서 觸針의 先端半徑과 測定壓이 測定에 미치는 影響”, 한국정밀공학회지, Vol. 3, No. 1, pp. 69-76.
- (8) 療良 治郎, 1987, “觸針のプロファイルへの影響”, 昭和62年度 精密工學會 秋季大會學術講演會論文集, pp. 237-238.
- (9) 韓應教, 盧炳沃, 直海茂南, 1989, “ダイヤモンド觸針の加工における最適條件”, 1990年度 精密工學會春季大會學術講演會講演論文集, pp. 925-926.
- (10) 中村常郎, 1960, “測定器の動作による曲線の解析” 精密機械, Vol. 14, No. 3, pp. 181-186.
- (11) 韓應教, 盧炳沃, 劉永德, 1989, “이온스파터 가공한 다이아몬드 측침의 선단반경이 표면거칠기 측정에 미치는 영향”, 1989年度 大韓機械學會 秋季學術大會 抄録集, pp. 294-297.